

**POTENSI PENURUNAN KONSENTRASI LOGAM BERAT TEMBAGA (CU)
DAN PERTUMBUHAN MIKROALGA *SPIRULINA PLANTESIS*
PADA MEDIA KULTUR**

***Potential Concentration of Heavy Metal Copper (Cu) and Microalgae Growth Spirulina
Plantesis in Culture Media***

Mochamad Rendy Setyo Budi^{1*}, Boedi Setya Rahardja², Endang Dewi Masithah²

¹Budidaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Kelautan Universitas Airlangga, Surabaya 60115

²Departemen Manajemen Kesehatan Ikan dan Budidaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Kelautan
Universitas Airlangga, Surabaya 60115

³Departemen Kelautan, Fakultas Perikanan dan Kelautan Universitas Airlangga, Surabaya 60115

*Korespondensi email : rendysb94@yahoo.com

ABSTRACT

Water is an important environmental component for life. Heavy metal water pollution comes from many industries. Heavy Metals Copper (Cu) is one of several other heavy metals that are harmful to living things. One way to anticipate the increased pollution of heavy metals Copper (Cu) in waters is bioremediation using microalgae. This study aims to determine the ability of *Spirulina platensis* in absorbing heavy metals Copper (Cu) and to determine the influence of heavy metal Copper (Cu) on the growth of *Spirulina platensis*. This study used an experimental method with Completely Randomized Design (RAL) consisting of four treatments and five replicates, namely A (*S. platensis* 0 ppm), B (*S. platensis* 1 ppm), C (*S. platensis* 3 ppm), D (*S. Platensis* 5 ppm). The results showed that *Spirulina platensis* was able to absorb heavy metal of Copper (Cu) so that it can be used as a heavy metal bioremediation agent. On treatment B (1 ppm) absorption of 87,719%, C (3 ppm) equal to 97,886% and D (5ppm) equal to 95,872 % Growth with the addition of Cu affects *Spirulina platensis* growth

Keywords: *Bioremediation, Spirulina platensis, Copper, Growth*

PENDAHULUAN

Air merupakan komponen lingkungan yang penting bagi kehidupan. Makhluk hidup di muka bumi ini tak dapat terlepas dari kebutuhan akan air. Kualitas dan kuantitas air dapat menjadi ancaman apabila tidak tersedia dalam kondisi yang benar (Lina, 2004). Jika kondisi ini dibiarkan, kedepan akan

memperburuk kondisi lingkungan dan membahayakan kesehatan manusia akibat meningkatnya status pencemaran dan akumulasi logam berat pada biota (Makkasau dkk., 2011).

Logam berat Cu merupakan salah satu jenis dari beberapa logam berat lainnya yang berbahaya bagi makhluk hidup. Logam berat merupakan polutan

bagi tanaman, hewan, dan kesehatan manusia. Pada manusia, keracunan Cu dapat menyebabkan terjadinya *hepatic cirrhosis*, kerusakan pada otak serta terjadinya penurunan kerja ginjal (Palar, 2008).

Berdasarkan Nilai Ambang Batas (NAB) yang telah ditetapkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 82 Tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air dengan batas kandungan logam Cd tidak boleh melebihi 0,02 mg/l pada suatu perairan.

Bioremediasi adalah salah satu alternatif untuk menangani toksisitas logam berat. Bioremediasi merupakan penggunaan mikroorganisme yang telah dipilih untuk ditumbuhkan pada polutan tertentu sebagai upaya untuk menurunkan kadar polutan (Suhendrayatna, 2001). Mikroalga merupakan tumbuhan tingkat terendah yang memiliki peranan sangat penting dalam ekosistem akuatik sebagai produser primer dan pensuplai oksigen perairan. Mikroalga merupakan bioremediator yang baik (Soeprbowati dan Hariyati, 2013).

Spirulina platensis merupakan salah satu jenis alga dengan sel tunggal yang termasuk dalam kelas *Cyanophyceae*. Alga ini mempunyai

kemampuan yang tinggi untuk mengikat ion-ion logam dari larutan dan mengadsorpsi logam berat karena di dalam alga terdapat gugus fungsi yang dapat melakukan pengikatan dengan ion logam. Gugus fungsi tersebut terutama gugus karboksil, hidroksil, amina, sulfidril imadazol, sulfat dan sulfonat yang terdapat dalam dinding sel dalam sitoplasma (Lumbanraja, 2014).

Spirulina platensis mempunyai kemampuan dalam menyerap logam berat. Untuk itu perlu diketahui kemampuan *Spirulina platensis* dalam penurunan konsentrasi berbeda dan pengaruhnya konsentrasi terhadap pertumbuhan. Oleh karena itu penelitian ini dilakukan untuk mengetahui penurunan konsentrasi logam berat (Cu) pada media kultur dan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi tembaga (Cu) terhadap pertumbuhan *Spirulina platensis*.

MATERI DAN METODE

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini telah dilaksanakan pada bulan April sampai Mei 2017 di Laboratorium Fakultas Perikanan dan Kelautan, Universitas Airlangga Surabaya. Pemeriksaan kandungan

Tembaga (Cu) pada air media kultur *Spirulina platensis* dilakukan di Balai Riset dan Standarisasi Industri (Baristand) Surabaya.

Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian adalah *autoclave*, *filter bag*, timbangan digital, labu ukur, gelas ukur, spuit, botol kaca perlakuan 1L, pipet volume, lampu neon 40 watt, mikroskop, pipet tetes, *sedgewick rafter*, *hand tally counter*, termometer, pH meter, DO meter, refraktometer, dan peralatan aerasi. Alat yang digunakan untuk pemeriksaan kandungan Tembaga (Cu) adalah *Flame Atomic Absorption Spectrometry* (ASS) Simatsu AA 6200 dengan *Limit Of Quantification* (LOQ) <0,0078.

Bahan penelitian yang digunakan adalah air laut, klorin, Na-Thiosulfat, sabun cair, aluminium foil, logam berat Tembaga (Cu), aquades, biakan murni *Spirulina platensis* yang diperoleh dari Balai Besar Perikanan Budidaya Air Payau (BBPBAP) Jepara, dan media Walne.

Prosedur Kerja

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental, rancangan penelitian yang digunakan adalah Rancangan Acak

Lengkap (RAL) yang terdiri dari empat perlakuan dengan lima ulangan yaitu :

- A : *S. platensis* tanpa penambahan Cu
- B : *S. platensis* dengan penambahan Cu 1 ppm
- C : *S. platensis* dengan penambahan Cu 3 ppm
- D : *S. platensis* dengan penambahan Cu 5 ppm

Pemberian logam berat Tembaga (Cu), sebesar 1,3, dan 5 ppm berdasarkan hasil penelitian Prambodo dkk. (2016) bahwa *Spirulina platensis* mampu menurunkan konsentrasi Tembaga (Cu) dan tumbuh dalam media kultur yang diberi 1,3, dan 5 ppm logam berat.

Sterilisasi Alat dan Media Kultur

Peralatan sebelum digunakan dilakukan sterilisasi, semua alat terlebih dahulu dicuci dengan sabun cair dan dibilas sampai bersih. Selanjutnya peralatan dimasukkan kedalam autoclave tekanan 1 atm, pada suhu 121°C selama 15 menit (Satyantini dkk., 2012). Untuk botol perlakuan 1L dan botol sampel analisis dicuci bersih dengan sabun cair kemudian direndam dengan klorin, dibilas dan dikeringkan.

Selanjutnya sterilisasi air laut yang akan digunakan sebagai media

kultur *Spirulina platensis*. Air laut disaring dengan *filter bag* kemudian disterilkan dengan menggunakan larutan klorin 60 ppm selama 24 jam dan dinetralkan dengan larutan Na-Thiosulfat 20 ppm sampai tidak berbau klorin (Isnansetyo dan Kurniastuti, 1995).

Pembuatan Larutan Stock Cd

Pembuatan larutan stok logam berat Cu. Larutan Tembaga (Cu) 1 ppm yang dibuat yaitu larutan stok dengan konsentrasi 10 ppm. Larutan stok dibuat dengan cara menimbang CuSO_4 sebanyak 5 mg kemudian dilarutkan dalam 500 ml akuades dalam labu ukur. Volume larutan yang diambil untuk mendapatkan konsentrasi 1 ppm dalam larutan stok Tembaga (Cu) adalah 50 ml. Untuk Konsentrasi 3 ppm menimbang CuSO_4 1,66 mg kemudian dilarutkan dalam 500 ml akuades dalam labu ukur. Volume yang diambil untuk mendapatkan 3 ppm dalam larutan stok Tembaga (Cu) adalah 16,6 ml. Pada Larutan stok Cu 5 ppm membuat larutan stok 1000 ppm. Dihasilkan perhitungan 5 mg yang kemudian dilarutkan pada 500 ml aquades. Volume lautan yang diambil untuk mendapatkan Tembaga (Cu) konsentrasi 5 ppm adalah 0,5 ml.

Pengambilan stok Tembaga (Cu) yang akan diperlakukan menggunakan rumus berikut (Gunawati, 2011):

$$V_1 N_1 = V_2 N_2$$

Keterangan :

V_1 : volume stok yang dicari (mL)

N_1 : konsentrasi stok yang dicari (mg/L)

V_2 : volume stok yang diketahui (mL)

N_2 : konsentrasi stok yang diketahui (mg/l)

Kultur Fitoplankton *Nannochloropsis oculata* dan *Chlorella vulgaris*

Media kultur yang digunakan dalam penelitian adalah air laut yang sudah di sterilisasi sebanyak 500 ml dan serta diberi aerasi. Bibit *Spirulina platensis* dimasukkan dalam botol masing-masing perlakuan dengan kepadatan 1×10^5 sel/ml berdasarkan Nisak (2013). Selanjutnya pada setiap media kultur masing-masing perlakuan ditambahkan pupuk walne sebanyak 0,5 ml/l. Kultur dilakukan selama 7 hari.

Perhitungan jumlah bibit *Spirulina platensis* untuk kultur menggunakan rumus (Satyantini dkk., 2012) :

$$V_1 = \frac{N_2 \times V_2}{N_1}$$

Keterangan :

V1 :volume bibit plankton untuk penebaran awal (mL)

N1 :kepadatan bibit/ stok *Spirulina platensis* (sel/ml)

V2 :volume media kultur yang dikehendaki (mL)

N2 :kepadatan *Spirulina platensis* yang di kehendaki (sel/ml)

Pengukuran Tembaga (Cu) Pada Media Kultur *Spirulina platensis*

Pengukuran Cu dilakukan sebelum kultur dimulai pada hari ke-0 dan sesudah pemeliharaan kultur *Spirulina platensis* pada hari ke-7. Kandungan Cu dalam media air laut di uji dengan Flame Atomic Absorption Spectrometry (ASS) Simatsu AA 6200 dengan Limit Of Quantification (LOQ) <0,0078 di Balai Riset dan Standarisasi Industri (Baristand) Surabaya.

Penghitungan Presentase Penyerapan dan Kepadatan Fitoplankton

Pengambilan data kemampuan penyerapan Tembaga (Cu) dilakukan pada hari ke-0 dan hari ke-7. Menurut Wiyarsi dan priyambodo (2013), Penghitungan efisiensi penyerapan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Eff} = \frac{t_0 - t_7}{t_0} \times 100\%$$

Keterangan :

Eff : efisiensi penyerapan (mg/l)

t0 : konsentrasi logam saat awal penelitian (mg/l)

t7 : konsentrasi logam pada akhir penelitian (mg/l)

Penghitungan kepadatan dilakukan setiap hari selama tujuh hari untuk mengetahui pertumbuhan fitoplankton dengan menggunakan Sedgewick rafter. (Sidabutar, 2012).

$$N = n \left(\frac{s}{lp} \right) \times \left(\frac{p}{v} \right)$$

$$\frac{nA + nB + nC + nD + nE}{5 \times 4 \times 10^5}$$

Keterangan :

N = Kepadatan *Spirulina platensis* (unit/ml)

N = Jumlah plankton dalam 10 lapang pandang (unit)

S = Jumlah lapang pandang pada sedgewick rafter

Ip = Jumlah lapang pandang yang digunakan

P = Volume subsampel (ml)

V = Volume sampel (ml)

Analisis Data

Analisis data menggunakan Analisis Of Varian (ANOVA) untuk mengetahui adanya perbedaan antar perlakuan. Apabila perlakuan yang diberikan memberikan pengaruh yang berbeda nyata akan dilanjutkan dengan Uji Jarak Berganda Duncan (*Duncan's Multiple Range Test*) untuk mengetahui perbedaan antar perlakuan satu dengan perlakuan lain (Kusriningrum, 2008).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Kemampuan *Nannochloropsis oculata* dan *Chlorella vulgaris* Dalam Menyerap Logam Berat Cadmium (Cd)

Hasil analisa kandungan logam berat Tembaga (Cu) awal dan akhir pada media kultur *Spirulina platensis* selama tujuh hari menunjukan terjadinya penurunan konsentrasi Logam berat Tembaga (Cu). Kandungan dan presentase penyerapan Cu di air media pemeliharaan dapat dilihat pada Tabel 1.

Hasil uji statistik Analisis of Varian (ANOVA) selang 95% pada *Spirulina platensis* terhadap logam berat Tembaga (Cu) menunjukan hasil berbeda nyata ($P < 0,05$). Jumlah presentase tertinggi diperoleh pada perlakuan

penambahan Logam berat Tembaga (Cu) 3 ppm dengan rata-rata persentase 97,886 %. Sedangkan, yang terendah pada perlakuan tanpa penambahan Logam berat Tembaga (Cu) yaitu 0%. Sedangkan untuk perlakuan 1 ppm dan 5 ppm masing-masing memiliki presentase penurunan logam berat Tembaga (Cu) 87,719% dan 95,872%.

Tabel 1. Kandungan dan presentase penyerapan Cu di air media pemeliharaan.

Perlakuan	Presentase Penyerapan \pm SD
A	0 ^a \pm 0
B	87.719 ^b \pm 2.017
C	97.886 ^d \pm .605
D	95.872 ^c \pm .547

Keterangan : Keterangan : A (*S. platensis* 0 ppm), B (*S. platensis* 1 ppm), C (*S. platensis* 3 ppm), dan D (*S. platensis* 5 ppm). *Superscript* yang berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan yang nyata ($p < 0,05$).

Pertumbuhan *Spirulina platensis*

Pertumbuhan *Spirulina platensis* dihitung setiap hari sampai hari ke tujuh. Dalam pertumbuhan ini dihitung kepadatan *Spirulina platensis*. Semua perlakuan dihitung kepadatannya baik perlakuan dengan penambahan logam berat maupun tanpa penambahan logam berat, Pengambilan data pertumbuhan ini bertujuan untuk mengetahui daya serap terhadap logam berat serta pengaruhnya

logam berat untuk *Spirulina plantesis*. Data rata-rata kepadatan *Spirulina platensis* disajikan pada tabel 2.

Tabel 2. Pertumbuhan rata-rata *Spirulina platensis* selama 7 hari

Perlakuan	Kepadatan <i>Spirulina plantesis</i> (10^3 sel/ml) pada hari ke-						
	1	2	3	4	5	6	7
A.	1	1,216	1,342	3,362	3,904	4,902	5,044
B.	1	1,196	1,294	3,422	3,516	4,734	4,904
C.	1	1,008	0,964	1,454	3,198	3,556	4,22
D.	1	1,026	1,248	1,796	3,07	2,658	3,146

Keterangan: A (*S. plantesis* 0 ppm), B (*S. plantesis* 1 ppm), C (*S. plantesis* 3 ppm), dan D (*S. plantesis* 5 ppm)

Kualitas Air

Hasil kisaran rata-rata pengukuran kualitas air media kultur *Spirulina platensis* selama penelitian disajikan Tabel 3.

Tabel 3. Nilai rata-rata kualitas air media kultur *Spirulina platensis*

Parameter	Kisaran
Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	29-33
DO (mg/L)	5-6
Ph	7
Salinitas (ppt)	30

Pembahasan

Hasil pengukuran air di media kultur *Spirulina plantesis* yang terkandung logam berat Tembaga (Cu) sebesar 1, 3, dan 5 ppm telah terjadi pengurangan konsentrasi logam berat. Pada Logam berat 1 ppm penurunan logam berat menjadi 0,13 ppm, Untuk 3 ppm penurunan logam berat menjadi 0,05, sedangkan pada perlakuan 5ppm penurunan logam berat menjadi 0,188.

Berdasarkan analisa kandungan logam berat Tembaga (Cu) awal dan akhir pada media kultur *Spirulina plantesis* selama penelitian menunjukkan penurunan kandungan logam berat Tembaga (Cu). Penurunan terjadi karena logam berat Tembaga (Cu) mengalami proses pengikatan dengan gugus fungsi oleh *Spirulina plantesis*. Berdasarkan tabel diatas menunjukkan bahwa presentase terbaik pada penyerapan Logam berat dengan konsentrasi 3ppm. Selisih penyerapan sebesar 2,650 dengan presentase 97,886%.

Proses penurunan konsentrasi Cu di air yang terjadi pada perlakuan Cu 1 ppm, 3 ppm dan 5 ppm menunjukkan bahwa adanya penyerapan Cu di dalam air oleh sel *Spirulina plantesis*. Presentase penurunan kadar Cu masing-masing sebesar 87,719%, 97,886%, dan 95,872% hal ini didukung dengan pernyataan Soeprobowati dan Hariyati (2014) menyatkan bahwa *Spirulina plantesis* yang dikultur ke dalam logam berat mampu menurunkan konsentrasi hingga 88% pada Pb, 85% pada Cd, 89% pada Cu, dan 88% pada Cr.

Pertumbuhan *Spirulina plantesis* diamati selama 7 hari karena berdasarkan penelitian oleh Widianingsih *et al.*, (2008) pertumbuhan *Spirulina plantesis*

mengalami fase akhir (fase stasioner) dalam kurun waktu 6 hari. Penelitian ini dilakukan 7 hari karena untuk mengetahui perubahan sel setelah *Spirulina platensis* mengalami fase akhir (fase stasioner) dan mengakumulasi logam berat Cu dalam selnya.

Hubungan laju pertumbuhan maksimal *Spirulina plantesis* dengan perlakuan konsentrasi logam berat Cu yang berbeda menunjukkan bahwa perlakuan dengan penambahan logam berat 1 ppm dibutuhkan untuk pertumbuhan tetapi semakin tinggi konsentrasi logam berat Cu yang diberikan maka semakin rendah kepadatan *Spirulina plantesis*. Torres (2008) dan Banvalvi (2011) mengatakan, logam berat Cu merupakan logam esensial dan mikronutrien yang dibutuhkan untuk pertumbuhan dan perkembangan.

Pada penambahan 5 ppm logam berat Cu pertumbuhan terhambat namun *Spirulina plantesis* tidak sampai mengalami kematian. Hal ini terjadi akibat dari Logam berat Cu berkonsentrasi dimana Logam berat menghambat respirasi untuk mikroalga berfotosintesis. Selain itu, sensitivitas mikroalga terhadap logam berat yang berbeda-beda tiap spesiesnya

mengganggu proses fisiologis dan menghambat fotosintesis. Polutan yang masuk ke dalam sel mesofil akan memberi pengaruh pada tingkat molekuler menyebabkan perubahan dalam respon stomata, struktur kloroplas, fiksasi CO₂ (Pranajaya *et al.*, 2014).

Puncak pertumbuhan pada masing-masing perlakuan juga mengalami perbedaan. *Spirulina plantesis* tanpa penambahan Cu (A) mencapai puncak populasi pada hari ke-7 dengan kepadatan $5,0 \times 10^5$. *Spirulina plantesis* dengan penambahan Cu 1 ppm (B) mencapai puncak populasi yaitu pada hari ke-7 dengan kepadatan sebesar $4,9 \times 10^5$ dan penambahan 3 ppm $4,22 \times 10^5$ dibandingkan dengan penambahan Cu 5 ppm yang lebih sedikit yaitu $3,1 \times 10^5$.

Hasil data kualitas air selama penelitian menunjukkan bahwa kondisi parameter kualitas air media kultur seperti suhu, DO, pH, salinitas masih dalam keadaan optimal. Suhu selama kultur *Spirulina platensis* yang berselang 7 hari berkisar 29-33°C. DO merupakan oksigen terlarut yang terdapat di perairan dimana oksigen terlarut digunakan untuk respirasi. Selama penelitian diperoleh oksigen terlarut (DO) berkisar 4-6 mg/l. Kondisi ini masih optimum untuk

pertumbuhan *Spirulina platensis*. Derajat keasaman (pH) saat kultur berada pada angka 7-8. Salinitas kultur saat penelitian 30 ppt.

KESIMPULAN DAN SARAN

Spirulina plantesis dapat menyerap Logam berat Tembaga (Cu) di semua perlakuan. Penyerapan terbaik pada perlakuan C yaitu dengan pemberian logam berat 3 ppm dengan presentase mencapai 97,886%. Logam berat Tembaga (Cu) mempengaruhi pertumbuhan *Spirulina plantesis* pada perlakuan pemberian Tembaga (Cu) 5 ppm dikarenakan pada konsentrasi ini bersifat toksik pada pertumbuhan *Spirulina plantesis*.

Dari hasil penelitian diharapkan dapat dimanfaatkan untuk menurunkan limbah yang mengandung logam berat Tembaga (Cu) pada instalasi pengelolaan limbah sebelum dibuang ke perairan bebas sehingga perairan tetap lestari dan dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan. Serta perlu dilakukan penelitian dengan Logam berat lain atau mengkombinasi Logam berat untuk diserap.

DAFTAR PUSTAKA

- Gunawati, W. D. 2011. Bioremoval oleh *Spirulina plantensis*. Skripsi. Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Airlangga. Surabaya. hal. 103.
- Hala, Y., E. Suryati, dan P. Taba. 2012. Biosorpsi Campuran Logam Pb^{2+} Dan Zn^{2+} Oleh *Chaetoceros Calcitrans*. Jurusan Kimia FMIPA. Universitas Hasanudin. Makassar. hal. 86-92.
- Hastuti, R. dan Gunawan. 2006. Amobilisasi Biomassa *Chlorella* Sp. Pada Silika Gel Sebagai Adsorben Tembaga. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Diponegoro. Semarang. 9(2): 1-6.
- Hirata, H., I. Andarias., and S. Yamasaki. 1981. Effect of Salinity and Temperature on The Growth of The Marine Phytoplankton *Chlorella saccharophilla*. Journal of the Kagoshima Universitas of Fisheries. Japan. 30(2) : 257-262.
- Isnansetyo, A. dan Kusniastuty. 1995. Teknik Kultur Phytoplanton dan Zooplankton. Penerbit Kanisius. Yogyakarta. hal. 40-85.
- Kusriningrum, 2008. Perancangan Percobaan. Airlangga University Press. Surabaya. hal. 21.
- Lina, W. 2014. Pencemaran Air Sumber, Dampak dan Penanggulangannya. Pengantar Falsafah Sains. Institut Pertanian Bogor. Bogor. hal. 1.

- Makkasau, A. M., M. N. Sjahrul, dan Jalaluddin. 2011. Teknik Fitoremediasi Fitoplankton Suatu Alternatif Pemulihan Lingkungan Laut yang Tercemar Ion Logam Cd^{2+} dan Cr^{6+} . FMIPA. Universitas Hasanuddin. Makasar. hal. 14
- Liljas, A. 2015. Crystal Structure of Human Carbonic Anhydrase. C. Nature New Biol. 235:131-137.
- Nisak, K. 2013. Studi Perbandingan Kemampuan Nannochloropsis sp. dan *Chlorella* sp. Sebagai Agen Bioremediasi Terhadap Logam Berat Timbal (Pb). Skripsi. Fakultas Perikanan dan Kelautan. Universitas Airlangga. Surabaya. hal. 66.
- Palar, H. 2004. Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat. Pt Rineka Cipta. Jakarta. hal 45-49.
- Parlindungan, L. 2014. Mikroorganisme dalam Bioremediasi. Sekola Pasca Sarjana. Universitas Sumatera Utara. Medan. Hal. 17.
- Pemerintah Republik Indonesia. 2001. Peraturan Pemerintah Nomor 82 tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. Jakarta. hal. 1.
- Prambodo, M. S., R. Haryati, dan T. R. Soeprbowati. 2016. *Spirulina platensis* Geitler sebagai Fikoremediator Logam Berat Pb Skala Laboratorium. Fakultas Sains dan Matematika Universitas Diponegoro. Semarang. 18(1): 56-63.
- Pranajaya, R. H., A. Djunaedi. Dan B. Yulianto. 2014 Pengaruh Tembaga Terhadap Kandungan Pigmen dan Pertumbuhan Mikroalga Merah *Porphyridium cruentum*. Progam Studi Ilmu Kelautan. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Universitas Diponegoro. Semarang. Vol 10. Hal 97-104.
- Satyanitini, W. H., E. D. Masithah, M.A. Alamsjah, dan S. Andriyono. 2012. Penuntun Praktikum Budidaya Pakan Alami. Fakultas Perikanan dan Kelautan. Universitas Airlangga. Surabaya. hal. 27.
- Sembiring, Z., Buhani dan Suharso. 2009. Isoterm Adsorpsi Ion Pb(II), Cu(II) dan Cd(II) pada Biomassa Nannochloropsis sp. yang Dienkapsulasi Akuagel Silika. Fakultas Matematika dan Ilmu Alam. Universitas Lampung. Lampung. hal 1-7.
- Soeprbowati, T. R. dan R. Hariyati. 2013. Potensi Mikroalga Sebagai Agen Bioremediasi Dan Aplikasinya Dalam Penurunan Konsentrasi Logam Berat Pada Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri. Laporan Akhir Penelitian Fundametal. Universitas Diponegoro. Semarang. hal. 1-58.
- Suhendrayatna. 2001. Bioremoval Logam Berat dengan Menggunakan Mikroorganisme. Seminar On-Air Bioteknologi untuk Indonesia Abad 21. Sinergy Forum – PPI Tokyo Institute of Technology
- Budidaya Departemen Kelautan dan Perikanan. Bandar Lampung. hal. 1-35.
- Torres, F.J., M.P. Barros, S.C.G. Campos, E. Pinto, S. Rajamani & P. Colepicol. 2008. Biochemical Biomarkers in Algae and Marine pollution: A review. Ecotoxicol. Environ. Saf. 71:1–15.

Vieira, R. H. S. F. and B. Volesky. 2000. Biosorption a Solution to Pollution. International Microbiology. Canada. 3(1): hal. 8.

Wiyarsi, A. Dan E. Priyambodo. 2013. Pengaruh Konsentrasi Kitosan dari Cangkang Udang terhadap Efisiensi Penyerapan Logam Berat. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta. hal. 17.